

Características de los suelos y su fertilidad en relación con la incidencia de *bitter pit* en plantaciones de manzanas Golden

J. Sió¹, A.D. Bosch-Serra^{2,*}, J. Rosera², J. Chiné² y J. Boixadera^{1,2}

¹ Departamento de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, Generalitat de Catalunya, Avda. Alcalde Rovira Roure 191, E-25198, Lleida, España

² Universitat de Lleida. Departamento de Medio Ambiente y Ciencia del Suelo, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria, Avda. Alcalde Rovira Roure 191, E-25198 Lleida, España; Teléfono: (+34) 973702899; Fax: (+34) 973702613

Resumen

En las áreas regadas del valle del Ebro y especialmente en una de sus principales zonas productoras en Lleida (NE de España), la manzana 'Golden Delicious' se comercializa tras un periodo de frigoconservación y el control de pérdidas durante este periodo es importante para el sector. Entre las fisiopatías causantes de estas mermas destaca el *bitter pit*. Si bien se han desarrollado métodos de predicción de dicha fisiopatía en cosecha mediante técnicas de laboratorio, la prevención en campo, antes de la plantación, resulta muy interesante dado el coste de esta incidencia. Los objetivos de este trabajo son identificar características edáficas simples que ayuden al agricultor en la decisión de establecer o no la plantación, y desarrollar modelos sencillos de predicción de *bitter pit* que permitan decidir en cosecha la conveniencia o no de la frigoconservación. Para alcanzar estos objetivos y desarrollar los modelos se estudiaron durante cuatro años, incluyendo la monitorización y análisis foliares y de fruto, 59 parcelas comerciales representativas de la zona productora que se agruparon según el tipo de suelo. Se determinó qué variables eran más significativas con respecto a la incidencia medida de *bitter pit* (con o sin almacenamiento en atmósfera controlada). En los dos últimos años de experimentación se usaron 112 nuevas plantaciones, en las que se empleó la misma metodología y que sirvieron para validar los modelos obtenidos. Las plantaciones establecidas en las distintas agrupaciones de suelos mostraron un comportamiento diferente, estadísticamente significativo, en relación a la aparición de *bitter pit*. La elección de los suelos más aptos, en base a la potencial reducción (~75%) de la incidencia de *bitter pit*, se vislumbra como una medida imprescindible a adoptar a la hora de establecer las plantaciones. Éstos serían aquellos suelos poco o moderadamente profundos, de texturas medias, con frecuentes elementos gruesos, con baja capacidad de retención de agua disponible, bien drenados o con drenaje rápido y no salinos. La eficiencia productiva (kg fruto/cm² tronco), la relación K/Ca y el porcentaje de N en el fruto son los parámetros que más se relacionaron con la aparición del *bitter pit* y en base a los cuales se establecieron los modelos predictivos sobre el interés o no de proceder a la frigoconservación de las manzanas.

Palabras clave: Calcio, fisiopatía, macronutrientes, *Malus x domestica* Borkh., poscosecha, valoración de suelos.

* Autor para correspondencia: angela.bosch@macs.udl.cat

<https://doi.org/10.12706/itea.2018.013>

Abstract

Soil properties and *bitter pit* incidence in 'Golden' apple orchards

In the irrigated area of the Ebro valley and in particular in Lleida (NE of Spain), the apple 'Golden Delicious' is marketed after a period of cold storage and the control of losses, during this period, is important. One of the most important physiological losses is due to the occurrence of *bitter pit*. At harvest, different prediction models using laboratory procedures have already been developed, but because of the high potential costs associated with this physiological disorder, its prevention at field level before orchard establishment is of main interest. The objectives of this work are: i) to identify soil characteristics linked to the incidence of *bitter pit* that can help farmers in their final decisions on orchard establishment and ii) to develop *bitter pit* prediction models during storage. For four years, 59 orchards were agronomically monitored including leaf and fruit analyses. They were arranged in different soil groups. The influence of the different parameters recorded on *bitter pit* incidence (stored under controlled or conventional atmosphere) was evaluated. The model obtained was validated during two years on 112 orchards. The behaviour of orchards according to the different soil groups and related to the incidence of *bitter pit* was statistically significant. The evaluation of soil characteristics prior to orchard establishment is a reliable preventive measure that would allow a major reduction (~75%) in the incidence of *bitter pit*. Productive efficiency, fruit K/Ca relationship and percentage of fruit N concentration were the most important factors in *bitter pit* prediction during storage for all groups of soils, although the importance of each selected variable was different depending on the soil group.

Keywords: Calcium, physiopathy, macronutrients, *Malus x domestica* Borkh., postharvest, soil aptitude.

Introducción

La producción mundial de manzanas (*Malus x domestica* Borkh.) ha aumentado en los últimos años debido principalmente a la creciente producción de China y de otros países del hemisferio Sur (FAO, 2016). En Europa se ha mantenido estable porque la mejora de los rendimientos se ha compensado con la disminución de la superficie dedicada a este cultivo. En España, las zonas productoras ocupan 30.726 ha (FAO, 2016) con una producción que se sitúa en 620.823 Mg. La provincia de Lleida es una de las principales productoras, aunque la superficie de manzano ha descendido desde las 11.326 ha de 2001 a las 6.797 ha en 2011 (DARP, 2016). Estas últimas suponen una producción de 203.104 Mg de las cuales, aproximadamente la mitad (129.460 Mg), se corresponden con manzanas del grupo Golden (MAPAMA, 2015). La calidad de los frutos es el atributo de mayor interés y es un tema recurrente en la mayoría de los programas de mejora genética. En el caso de la

manzana Golden, la tendencia ha sido hacia la plantación de variedades menos sensibles al *russeting*, como la 'Golden Smoothee' o la 'Golden Reinders' (Iglesias et al., 2009). En la zona de Lleida, la manzana 'Golden Delicious' se comercializa tras un periodo de frigoconservación y la minimización de pérdidas de manzana comercializable durante esta etapa es importante para el sector. Las causas se asocian a la deshidratación, a fisiopatías y a podredumbres. Entre las fisiopatías causantes de estas mermas destaca el *bitter pit*. El *bitter pit* es un desorden fisiológico que se presenta en manzano y que se caracteriza por la aparición en el fruto de pequeñas manchas de color marrón que afectan la zona superficial de la piel, con tejido necrosado-corcho por debajo que ha sido caracterizado por algunos autores (Val et al., 2006). Se considera que como media esta alteración fisiológica ocasiona en España pérdidas anuales por valor de 5 M€, coste que se puede incrementar considerablemente en años de alta incidencia, cuando algunas partidas pueden

sufrir del orden del 30-40% de mermas (Ruralcat, 2017). La fisiopatía se produce en el campo y, aunque la alteración puede ya presentarse en recolección, se desarrolla por lo general tras el periodo de conservación en frío, cuando el fruto ha alcanzado un estado más avanzado de madurez. Mengel y Kirkby (1982) indicaron que el suministro subóptimo de Ca al fruto era la causa de la aparición del *bitter pit* y desde hace muchos años se conoce la estrecha correlación negativa entre aparición de *bitter pit* y el contenido de calcio (Sharples, 1968). Una elevada concentración de Ca evita que se desarrollen numerosos desórdenes en frutos, entre ellos el *bitter pit*, pero unos contenidos bajos del mismo no es causa suficiente, necesiéndose de la presencia de otras circunstancias causales entre las que cabría citar elevados ratios N/Ca en fruto (Faust, 1989). Trocme y Gras (1979) recogen trabajos de distintos autores que relacionan diversos índices en fruto (por ejemplo, la relación K+Mg/Ca) con la severidad de la incidencia del *bitter pit*. Se ha demostrado también que las altas concentraciones en fruto de N, K o Mg frente a las de Ca, reducen su firmeza tras la conservación en frío (Casero et al., 2010). Los tratamientos con calcio incrementan sus contenidos en el fruto, aunque no de manera proporcional, e incluso pueden provocar desórdenes fisiológicos (Casero et al., 2010). El manejo de la carga frutal del árbol junto con el del tamaño del fruto se considera que es el segundo factor más influyente en la aparición del *bitter pit*, correlacionando poca carga del árbol y calibres grandes con una alta incidencia del desorden (Ben, 1995; Retamales y Lepe, 2000). La influencia del manejo del agua de riego tiene una doble vertiente. En la primera, algunos trabajos proponen que el riego en exceso incrementa el riesgo de *bitter pit* (Failla et al., 1990). Ello se explica porque la reducción en la disponibilidad de oxígeno en el suelo (por debajo de un 10%) limita el crecimiento radicular en manzano (Ruhland, 1961) y tam-

bién porque el calcio se absorbe mayoritariamente en los ápices de las raíces y en las raíces de crecimiento secundario; en consecuencia, cuando el contenido de oxígeno en la atmósfera del suelo desciende, se limita la absorción de calcio. Desde la segunda vertiente, otros autores (Ho y White, 2005) han demostrado que el estrés hídrico, la baja humedad ambiental y la salinidad inducen la deficiencia de calcio. La influencia de estas variables o situaciones se explica porque el estrés hídrico limita la translocación de Ca a través del xilema hacia el fruto (Hocking et al., 2016), reduciendo además el número de vasos del xilema (Davies et al., 2000). Otras condiciones ambientales pueden contribuir a la manifestación del *bitter pit*. El efecto de las altas temperaturas y alta incidencia lumínica favorecen la rápida expansión del fruto, lo que diluye la concentración de calcio en el mismo y lo hace más sensible a las alteraciones fisiológicas (De Freitas y Mitcham, 2012).

Una mala polinización, que conduce a una disminución del número de semillas, puede aumentar la incidencia de *bitter pit* debido a una reducción de la concentración de calcio en fruto (Volz et al., 1996). Cabe señalar que el transporte de calcio hacia el fruto disminuye de manera muy importante cuando se reduce la síntesis del ácido indolacético (IAA) en el mismo (Faust, 1989).

Ante la diversidad de factores (edáficos, agronómicos, meteorológicos y de manejo) que influyen en la aparición de *bitter pit* (Jemrić et al., 2016), se ha trabajado en métodos de predicción en laboratorio. Entre ellos cabe destacar las infiltraciones de magnesio que desplazan el calcio en la pulpa, generando procesos de degradación al transcurrir 10-15 días y obteniendo un efecto similar al del *bitter pit* (Retamales y Valdes, 2001); la aceleración de la madurez con la aplicación de etileno (Lötze et al., 2010) o el empaquetado del fruto en bolsas de plástico cerradas a temperatura ambiente antes del pico climático (Torres et al., 2015).

En este trabajo se plantea un doble objetivo. En primer lugar determinar las características edáficas que inciden en la aparición del *bitter pit* y que pueden estudiarse antes de la plantación, con la finalidad de que puedan ser útiles al agricultor para la toma de la decisión de establecer o no una plantación de manzano Golden. El segundo objetivo es el desarrollo en recolección de un modelo simple de predicción de la aparición de *bitter pit* en los frutos conservados en AC, con la finalidad de que puedan ser utilizados en la decisión de conservar dichos frutos o no.

Material y métodos

Localización, climatología y parcelas estudiadas

El área de estudio se centró en la denominada *Plana de Lleida* (Latitud 41°52'42" – 41°20'52", Longitud 19°33" – 1°11'41") que comprende una superficie de 250.000 hectáreas, con altitudes de 100 a 400 m. El clima es mediterráneo semiárido continental (Papadakis, 1966). La zona es relativamente uniforme meteorológicamente (Figura 1). Las medias anuales de precipitación del periodo 1989-2016 en estaciones meteorológicas de la zona son 383 mm (Poal), 377 mm (Vallfogona de Balaguer) y 359 mm (Raimat). La evapotranspiración para el mismo periodo, calculada según la fórmula de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), alcanza los 961 mm en Poal y 953 mm en Raimat. La temperatura media de la zona es de 14,6°C para la serie 1916-1991 (Lleida). En la serie 1989-2016, para las estaciones de Poal, Vallfogona de Balaguer y Raimat fue de 13,6°C, 14,3°C y 13,9°C, respectivamente. La zona se distingue por su aridez para el cultivo de frutales, con un déficit hídrico de 600 mm anuales.

Se seleccionó un grupo de plantaciones en las que se estudiaron diversos parámetros que

sirvieran para elaborar los modelos de predicción del *bitter pit*. Para la selección previa de los tipos de suelos de las plantaciones se utilizaron los trabajos de cartografía detallada de suelos desarrollados por el DARP (Departamento de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Generalitat de Cataluña) en la zona de estudio y que, posteriormente (una parte de ellos), se han publicado dentro del Mapa de Suelos de Cataluña (IGCDAR-ICC 2009, 2010a,b,c, 2011; ICGC, 2017). La selección de parcelas se llevó a cabo de forma coordinada con los técnicos de las Agrupaciones de Defensa Vegetal y son una buena representación de los tipos de manejo de las plantaciones en la zona de estudio. El sistema de riego o el tipo de suelo no se prefijó, pero se intentó que estuvieran representados los principales sistemas de riego (por inundación y localizado) además de los principales tipos de suelos de la zona. Se excluyeron los suelos muy yesíferos o salinos por presentar comportamientos extremos. Las plantaciones se estudiaron durante cuatro años para la determinación de los parámetros que inciden sobre el *bitter pit*. En el primer año se estudiaron cincuenta plantaciones. Se ampliaron en el segundo año a sesenta y siete, en el tercer año se redujeron a sesenta y cinco y finalmente, en el cuarto año, se mantuvieron cincuenta y nueve parcelas. En dos campañas adicionales se validaron los modelos desarrollados; para ello, en el quinto año se utilizaron 32 nuevas plantaciones y 80 más el sexto. Estas últimas pertenecían a dos centrales hortofrutícolas (40 parcelas de cada central). Las plantaciones de manzano eran todas del grupo 'Golden', que incluye 'Golden Delicious' y algunos de sus mutantes. Estaban en plena producción e injertadas mayoritariamente sobre 'EM9'. El manejo de la cubierta vegetal del suelo seguía la práctica común de la zona con la calle enyerbada y segada periódicamente, a la vez que se mantenía una banda en la línea de los árboles, aproximadamente de un metro de anchura, desyerbada químicamente.

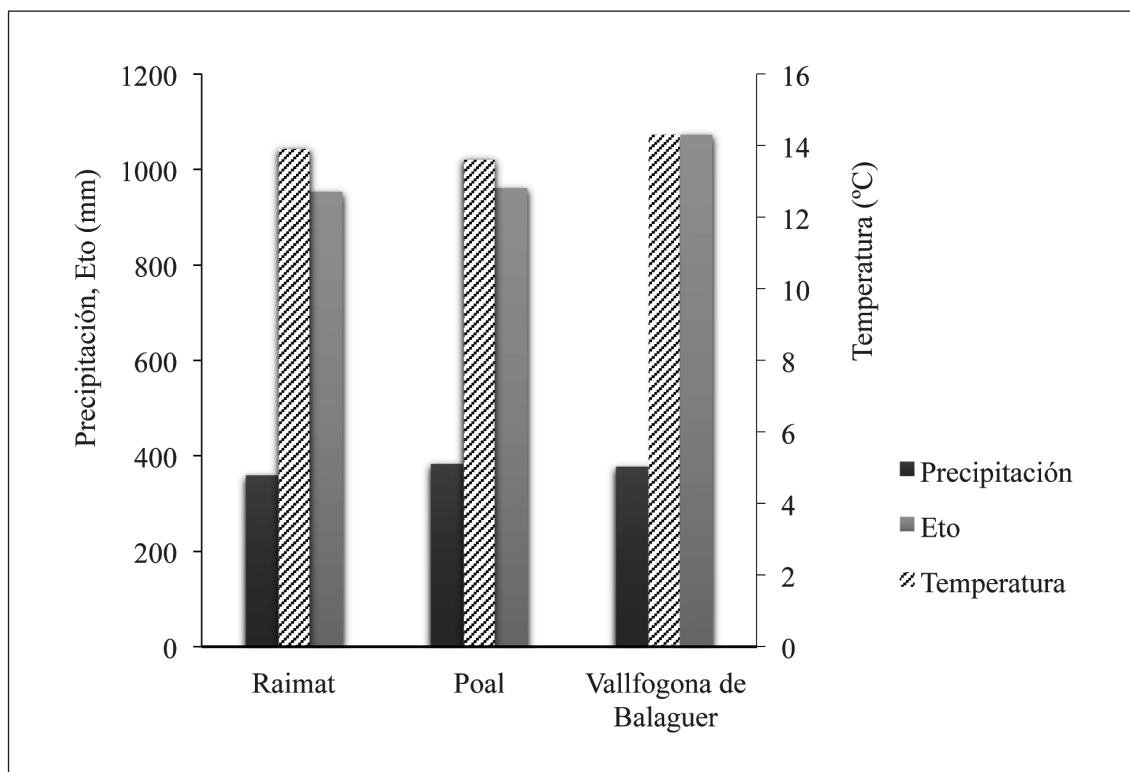


Figura 1. Valores medios anuales de precipitación, de evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto) calculado según la ecuación de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) y de temperatura, en el periodo de 1989 a 2016, para las estaciones de Raimat, Poal y Vallfogona de Balaguer.

Figure 1. Mean annual rainfall, reference crop evapotranspiration (Eto) according to Penman-Monteith equation (Allen et al., 1998) and temperature values for the period 1989-2016, for the Raimat, Poal and Vallfogona de Balaguer meteorological stations.

Muestreos

En cada una de las plantaciones estudiadas se delimitó una zona representativa de 0,5 ha para la prospección directa mediante calicatas descritas según la norma SINEDARES (Porta, 1983). En cada perfil se describió como mínimo, la profundidad enraizable, la clase de drenaje, la disposición de los horizontes y el material subyacente. Para diferenciar y posteriormente agrupar las parcelas se utilizaron los tipos de suelo (fases de series) empleados en el Mapa de Suelos 1/25.000 de Cataluña

(Danés et al., 1991; Herrero et al., 1993) y en algunos casos criterios adicionales recogidos durante la prospección (dificultad de enraizamiento o nivel freático). Se descartaron aquellas plantaciones en las que se observó que en la totalidad o en gran parte de la plantación existía un nivel freático muy elevado. Se descartaron 10 parcelas, 4 en la elaboración del modelo y 6 en su validación con datos del sexto año.

En la zona elegida de cada plantación, al inicio de los experimentos y en el área asociada a la proyección vertical de la cubierta arbórea

se obtuvieron, mediante barrena, muestras compuestas de los primeros 30 cm de profundidad y de 30 a 60 cm, o cuando no era posible, hasta la profundidad enraizable. Las muestras se analizaron según los métodos descritos en MAPA (1994).

De cada parcela se caracterizó también el material vegetal, el sistema de riego, el sistema de formación, la edad y el vigor. El vigor de la plantación se determinó mediante la medida del diámetro del tronco a 20 centímetros sobre el punto de injerto y se empleó posteriormente para definir la eficiencia productiva. Se procedió a anotar la producción, los abonados, los riegos, los tratamientos fitosanitarios y otras prácticas culturales realizadas por el agricultor (datos no mostrados).

Cada año se realizó un análisis mineral de hojas y de frutos. Se muestrearon 100 hojas, situadas en el tercio central del brote del año, a los 90 días de la floración, según la metodología descrita por Gagnard (1984). En el momento de la cosecha, y de un total de 20 frutos por plantación, se realizaron los análisis del fruto, de la piel y de la pulpa sin semillas. En todos los casos se determinaron: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, boro, zinc y manganeso (AENOR, 2008). La lectura de los elementos se realizó mediante espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (IPC-AES). El nitrógeno total se determinó por el método Kjeldalh (APHA, 2012).

En el momento de la madurez comercial se muestrearon 4 frutos por árbol, situados a 1,4-1,8 m de altura, con un calibre comprendido entre 75-85 mm, hasta recolectar un total de 200 frutos por plantación, de los cuales, cien frutos, sin síntomas visibles de *bitter pit*, se mantuvieron a 20°C durante 20 días. Los otros 100 frutos restantes se guardaron en una cámara frigorífica (0,5°C), durante seis meses, en atmósfera controlada (AC) con

el 2-3% de oxígeno y un 3% de dióxido de carbono. Tanto en los frutos que se mantuvieron a 20°C como en los conservados en cámara frigorífica se valoró la incidencia del *bitter pit*. En la fase de validación y durante la recolección se respetó el procedimiento del agricultor que deposita en cajas de madera unos 300 a 350 kg de fruta según la central hortofrutícola. En cada una de las plantaciones se controlaron todos los frutos de 4 cajas de madera en vez de 200 frutos.

Estudio estadístico

Se realizó un análisis de varianza de las características edáficas en función de los grupos de suelos establecidos y asociados a las distintas plantaciones estudiadas. La metodología inicial empleada para el desarrollo del modelo consistió en seleccionar las variables más influyentes mediante correlaciones lineales. Con esta selección de variables independientes se realizó un test de paralelismo y coincidencia con el objetivo de evaluar si las variables obtenidas en los diferentes ciclos de cultivo eran coincidentes y, por tanto, se podían tratar las variables independientes de los años de estudio conjuntamente, sin considerar el factor año. Las variables que superaron el test se utilizaron en el establecimiento de regresiones mediante el método de regresión múltiple escalonada (Stepwise) que permite eliminar aquellas que aportan poco valor al modelo. Una vez realizada la selección definitiva de las variables independientes, se empleó el procedimiento de regresión múltiple para el desarrollo del modelo. El modelo se elaboró para todas las parcelas (todos los grupos de suelos) y también para una selección de parcelas pertenecientes a los cuatro grupos de suelos con características edáficas más contrastadas (Tabla 1). En el tratamiento de datos se utilizó el programa estadístico SAS v9.4 (SAS Institute Inc., 2002-2012).

Tabla 1. Agrupación de los suelos de las fincas estudiadas durante un periodo de 6 años y descripción de sus principales características¹

Table 1. Soil groups of the apple orchards which were studied for a period of 6 years. Description of their main characteristics¹

Grupo	Fincas (número)	Características
1	41	Suelos desarrollados sobre materiales detríticos terrígenos finos (DTF) en fondos de valles y abanicos aluviales, profundos (>80 cm), con alta capacidad de retención de agua disponible (CRAD ² , superior a 1500 m ³ ha ⁻¹), bien drenados ³ y con buena estructura. No salinos
2	16	Suelos desarrollados sobre materiales DTF, profundos, con una CRAD superior a 1500 m ³ ha ⁻¹ y con algún problema de drenaje. Presentan dificultades para el enraizamiento debido a las texturas finas y a la alta densidad aparente. Incluyen suelos no salinos a ligeramente salinos
3	34	Suelos desarrollados sobre lutitas o areniscas, de poco a moderadamente profundos (0,3-1m), generalmente afectados por procesos de nivelación. Presentan un cierto grado de salinidad
4	39	Suelos desarrollados sobre materiales DTF con frecuentes elementos gruesos o capas de caliza fragmentada. Se encuentran en abanicos aluviales, terrazas fluviales y plataformas estructurales. Son poco profundos (<0,4 m), con un drenaje de bueno a rápido y baja CRAD (<500 m ³ ha ⁻¹). No salinos
5	18	Suelos desarrollados sobre lutitas y materiales DTF, profundos y bien drenados. Han sido muy afectados por nivelaciones. No salinos o muy ligeramente salinos
6	26	Suelos desarrollados sobre materiales detríticos terrígenos con frecuentes elementos gruesos, situados en abanicos aluviales y terrazas fluviales, moderadamente profundos, con elevada CRAD, y bien drenados. No salinos
7	10	Este grupo se corresponde con los suelos del grupo 6 donde existe, en la totalidad de la parcela o en parte, niveles freáticos elevados y peor drenaje

¹ Descripción en base a Herrero *et al.* (1993) e IGC-DAR-ICC (2009, 2010a,b,c, 2011).

² Agua disponible en la profundidad enraizable.

³ Facilidad con la que se elimina el agua del perfil. Clases de drenaje según SINEDARES (Porta, 1983).

Resultados

Los suelos de las parcelas se agruparon en siete grupos (Tabla 1). Todos los suelos son básicos, con valores de pH que oscilan entre $8,1 \pm 0,2$ y $8,3 \pm 0,2$ de 0 a 0,3 m o de 0,3 a 0,6 m, respectivamente. Para estas mismas profundi-

dades el contenido de carbonato cálcico equivalente varía entre el $27 \pm 6\%$ y el $28 \pm 6\%$. Los grupos de suelos analizados presentan diferencias significativas en la profundidad enraizable, y en los primeros 0,3 m de profundidad en los contenidos de arena y arcilla, la salinidad, los contenidos de materia orgá-

nica y en magnesio intercambiable (Tabla 2). La arena predomina en suelos de origen aluvial (grupo 4). El contenido de arcilla y limo es más elevado en los suelos del grupo 2 que además presentan dificultades de drenaje, contrastando con los de los grupos 4 y 6, que son suelos muy bien drenados debido a que

el material subyacente son materiales detríticos con gravas. Los suelos dentro del grupo 2 presentan los valores más altos de salinidad ($0,48\text{ dS m}^{-1}$ en la prueba previa) y de contenidos en magnesio de cambio por tener asociada una capa freática que suele ser rica en este elemento.

Tabla 2. Profundidad enraizable y valores medios de los parámetros estudiados (0-30 cm) en las parcelas monitorizadas en el periodo de 6 años y asociadas a cada uno de los seis grupos establecidos en la Tabla 1

Table 2. Root depth and soil average values (0-30cm) for the field trials studied during the six year period and associated with the 6 main soil groups (Table 1)

Grupo de suelo	Profundidad enraizable (m)	Parámetro estudiado					
		Arcilla (%)	Arena (%)	CE 1:5 (dS m^{-1})	Materia orgánica (%)	Caliza activa (%)	Mg de cambio ($\text{cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$)
1	1,19a	25,4bc	30,5c	0,26bc	2,21b	9,4a	2,4b
2	1,09b	27,8a	25,8d	0,48a	2,1bc	9,8a	3,1a
3	0,74c	24,0c	34,8bc	0,35b	1,87c	7,4b	2,0bc
4	0,45d	24,9bc	42,8a	0,23c	2,56a	9,5a	2,0bc
5	1,13b	23,4c	32,3bc	0,31bc	1,95c	7,9b	1,8c
6	0,70c	26,9ab	35,9b	0,22c	2,53a	9,5a	2,2bc

Medias seguidas por la misma letra no son estadísticamente distintas según el test de rango múltiple de Duncan ($\alpha = 0,05$).

Los datos de magnesio intercambiable se corresponden con el periodo inicial de cuatro años.

Los suelos cuyos materiales subyacentes son lutitas y arenitas (grupos 3 y 5) son los que presentan menores contenidos de materia orgánica (aunque no difieren significativamente del grupo 2). Este menor contenido de materia orgánica se explica porque se encuentran en superficies con mayor pendiente y porque, en general, han sido objeto de movimientos de tierra (nivelaciones y sistematizaciones).

Respecto a la fertilidad fósforo-potásica en la mayor parte de las plantaciones estudiadas

durante la elaboración del modelo, los niveles son altos o muy altos (Tabla 3). Las plantaciones con niveles bajos o muy bajos sólo representan un 6,3% y un 13,4%, respectivamente. El predominio de parcelas con contenidos elevados de fósforo y potasio en el suelo se mantiene en las plantaciones empleadas para la validación (Tabla 3).

Las producciones medias oscilaron entre 9,4 y $25,1\text{ kg árbol}^{-1}$ y las eficiencias productivas entre 0,46 a $0,71\text{ kg fruta cm}^{-2}\text{ tronco}$. Las exportaciones por parte del fruto para una

Tabla 3. Distribución en porcentaje de las plantaciones monitorizadas durante los cuatro años iniciales de la experimentación y en los dos años posteriores en relación a la disponibilidad de fósforo y potasio asimilables en el suelo (0-0,3 m)

Table 3. Orchard distribution (%) according to the availability of phosphorus and available potassium (0-0.3 m) during the four initial years of the experimentation and in the following two

Variable	Intervalo (mg kg ⁻¹)	Periodo de establecimiento del modelo (4 años)		Periodo de validación del modelo (2 años)	
		Nº parcelas	Plantaciones (%)	Nº Parcelas	Plantaciones (%)
Fósforo asimilable (Olsen)	<6	8	3,4	2	1,9
	6-12	11	4,6	10	9,3
	12-18	35	14,7	6	5,6
	18-24	39	16,4	15	13,9
	24-36	79	33,2	23	21,3
	>36	66	27,7	52	48,1
Potasio extraíble (AcONH ₄ , pH = 7)	<80	0	0,0	3	2,8
	80-125	32	13,4	11	10,2
	125-175	30	12,6	7	6,5
	175-250	68	28,6	19	17,6
	>250	108	45,4	68	63,0

producción de 50 t ha⁻¹ variaron entre 25-35 kg N, 7-10 kg P₂O₅ y 70-80 kg K₂O.

Los grupos de suelos 4 y 6 presentan contenidos de Ca en hoja significativamente más elevados pero similares al valor propuesto por Faust (1989) de 1,8% como la concentración que muy probablemente aseguraría un suministro adecuado de Ca al fruto. Además, los valores de los cocientes N/Ca y K/Ca son inferiores a los del resto de grupos de suelos (Tabla 4). No hay diferencias significativas entre los grupos de suelos en lo que se refiere al contenido de K, Ca y Mg en los frutos, pero se observa que los grupos 4 y 6 presentan valores de los cocientes N/Ca y K/Ca significativamente inferiores a los del resto de grupos (Tabla 4).

La incidencia de *bitter pit* presenta una gran variabilidad, desde plantaciones sin presencia de esta fisiopatía a otras con niveles que al-

canzan el 54% de los frutos a la salida de cámara, en el cuarto año de estudio. El cuarto año junto con el primero fueron los de mayor afectación (Tabla 5) y contrastan con el segundo y tercer años en los que los daños, tras el almacenamiento a 20°C durante 20 días, casi se reducen a la mitad. En atmósfera controlada los daños se minimizan, de manera que representan entre un 10% (los años de menor incidencia) a un 40% respecto a la afectación cuantificada a temperatura ambiente (Tabla 5).

El tipo de suelo influye sobre el *bitter pit* (Figura 2). Cuando se separó los cuatro primeros grupos de suelos (Tabla 1) que son los más contrastados, en el periodo de cuatro años evaluado y tras 6 meses de conservación en AC, las plantaciones asociadas a los grupos de suelos 1 y 2 presentaron un mayor porcentaje de frutos afectados por *bitter pit* que los

Tabla 4. Valores medios del contenido de distintos nutrientes (sobre materia seca) y sus relaciones, en hoja y en fruto, durante el periodo inicial de evaluación de cuatro años
 Table 4. Average nutrient content (over dry matter) in leaves and fruits and their relationships, during the initial period (4 years) of experimentation, for each of the six main soil groups

Grupo de suelo	Hoja						Fruto							
	N	P	K	Ca	Mg	N/Ca	K/Ca	N	P	K	Ca	Mg	N/Ca	K/Ca
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	(%)	-----	-----	(mg kg ⁻¹)	-----	-----	-----
1	2,46	0,18ab	1,79a	1,64b	0,31	1,53b	1,11bc	0,34a	642a	8.056	205	315	16,6a	39,3ab
2	2,47	0,17bc	1,77a	1,48c	0,33	1,75a	1,27a	0,30b	648a	7.722	197	306	15,2ab	39,2ab
3	2,62	0,18a	1,80a	1,58b	0,32	1,60b	1,19ab	0,32ab	651a	7.416	180	312	17,7a	41,2a
4	2,42	0,16c	1,74ab	1,80a	0,35	1,37d	0,98cd	0,29b	574b	7.868	221	301	13,1b	35,6b
5	2,49	0,16c	1,78a	1,62b	0,31	1,58b	1,11bc	0,33a	632a	8.2	213	314	15,5a	38,5ab
6	2,43	0,17abc	1,61b	1,77a	0,36	1,41cd	0,93d	0,32ab	607b	7.796	213	320	15,0ab	36,6b

Los grupos de suelos se hallan descritos en la Tabla 1.

Medias seguidas por la misma letra no son estadísticamente significativas según el test de rango múltiple de Duncan ($\alpha = 0,05$).

suelos del grupo 4 (Figura 2). Asimismo, cuando la fruta recién recolectada se mantuvo durante 20 días a 20°C, los suelos profundos, con problemas de drenaje (grupo 2) indujeron una mayor afectación que los suelos poco profundos y con drenaje bueno o rápido (grupo 4). Estas diferencias concuerdan con los niveles de calcio en hojas que como ya se había indicado son superiores en el grupo 4 de suelos (Tabla 4), mientras que la relación N/Ca y K/Ca es menor, excepto el valor de K/Ca para el grupo 1.

La incidencia de *bitter pit* tras 6 meses de conservación en AC se ha correlacionado negativamente (Tabla 6) con el contenido de calcio en hoja, y positivamente con las concentraciones de K y B foliar, aunque en alguno de los años estas correlaciones no han sido significativas (Tabla 6). La incidencia también se ha correlacionado positivamente con los valores de los cocientes K/Ca y (K+Mg)/Ca en hoja y en fruto para todos los años individualmente, y para el conjunto de ellos (Tabla 6). Además, en fruto, la incidencia de *bitter pit* también se correlaciona positivamente con la relación P/Ca (Tabla 6). En general, los valores del coeficiente de correlación son más elevados para las variables analizadas en fruto. En los resultados obtenidos en este periodo de cuatro años también se observa una correlación lineal negativa con la eficiencia productiva (Tabla 6).

Las variables que más influyen sobre la incidencia del *bitter pit* a salida de cámara y que no se ven afectadas por otras variables estudiadas, son la eficiencia productiva, el N en el fruto y la relación K/Ca en fruto. Se descartó introducir el boro foliar o en fruto porque se relacionaban con algunas de las variables seleccionadas (datos no mostrados).

La elaboración del modelo de predicción (Tabla 7) parte pues de la selección de las variables: eficiencia productiva (kg fruta cm⁻² tronco), contenido de N (en porcentaje sobre

Tabla 5. Valores medios y desviación típica (\pm) del porcentaje de frutos afectados por bitter pit tras la recolección y tras un almacenamiento a 20°C durante 20 días (cosecha) o después de 6 meses de frigoconservación en atmósfera controlada (AC)

Table 5. Mean values and standard deviation (\pm) average of fruits affected by bitter pit after picking and after 20 days at 20°C (harvest) or after 6 months in cold storage with controlled atmosphere (AC)

Época ¹ de evaluación	Promedio de cuatro años	Primer año	Segundo año	Tercer año	Cuarto año
Cosecha	12,0 \pm 11,1	13,4 \pm 11,6	8,8 \pm 7,9	8,6 \pm 8,7	16,1 \pm 14,2
AC	2,7 \pm 6,0	1,7 \pm 3,3	0,7 \pm 1,5	1 \pm 3,5	6,5 \pm 10,1

¹ En el momento de la recolección, previo al almacenaje de 20 días a 20°C, no se recolectó ningún fruto con síntomas de *bitter pit*.

Tabla 6. Coeficientes de correlación (r) entre la incidencia de bitter pit después de 6 meses de conservación en atmósfera controlada y los contenidos de nutrientes en hojas y frutos (expresados sobre materia seca) y la eficiencia productiva, para cada uno de los cuatro años evaluados y para el periodo experimental

Table 6. Correlation coefficient (r) between bitter pit incidence after 6 months in controlled atmosphere storage and leaf and fruit nutrient content (in dry matter) and productive efficiency for each of the four years evaluated and for the whole experimental period

Órgano	Variable	Periodo de 4 años	Primer año	Segundo año	Tercer año	Cuarto año
Hoja	K (%)	0,261***	0,402 ***	0,159	0,022	0,402 ***
	Ca (%)	-0,292***	-0,396***	-0,345 ***	-0,430	-0,304 **
	B (%)	0,168 **	0,214	0,234 *	0,348 ***	0,351 ***
	K/Ca	0,391***	0,589 ***	0,315 **	0,349 ***	0,425 ***
	Ca/Mg	-0,233***	-0,365**	-0,224*	-0,194	-0,246*
	N/Ca	0,264***	0,446 ***	0,286 **	0,393 ***	0,309 **
	(K+Mg)/Ca	0,415 ***	0,625***	0,343 ***	0,384 ***	0,440 ***
Fruto	N (%)	0,170 ***	0,316 **	0,290 **	-0,205	0,299 **
	K (mg kg ⁻¹)	0,273 ***	0,287 **	0,231 *	0,100	0,511 ***
	Ca (mg kg ⁻¹)	-0,344***	-0,381***	-0,367***	-0,436***	-0,127
	B (mg kg ⁻¹)	0,312 ***	0,311 **	0,171	0,438 ***	0,397 ***
	K/Ca	0,510 ***	0,540***	0,549 ***	0,435***	0,447 ***
	Ca/Mg	-0,447***	-0,560***	-0,444***	-0,393***	-0,481***
	N/Ca	0,362***	0,466 ***	0,446 ***	0,147	0,386 ***
	(K+Mg)/Ca	0,513 ***	0,544 ***	0,548 ***	0,436 ***	0,452 ***
	P/Ca	0,476***	0,400 ***	0,412***	0,431 ***	0,384 ***
Eficiencia productiva (kg fruta cm ⁻² tronco)		-0,354***	-0,381**	-0,24*	-0,304**	-0,363***

Tabla 7. Modelos de predicción del porcentaje de frutos afectados por bitter pit para los diferentes grupos de suelos con características más contrastadas y para el conjunto de suelos
Table 7. Prediction models for fruits affected by bitter pit according to the different types of soil and for the whole set of soils

Grupo	Ecuación	R ²	p valor
Todos	Y = -17.99-11.08* Ef + 0.58*fruto K/Ca + 39.98*fruto N	0,31	<0,001
1	Y = -9.09-32.70* Ef + 0.47*fruto K/Ca + 34.02*fruto N	0,40	<0,001
2	Y = -40.61-5.22* Ef + 0.93*fruto K/Ca + 83.74*fruto N	0,47	<0,001
3	Y = 5.41-22.77* Ef + 0.06*fruto K/Ca + 43.68*fruto N	0,31	<0,001
4	Y = -8.77-3.18* Ef + 0.42*fruto K/Ca + 3.54*fruto N	0,21	<0,001

Los distintos grupos de suelos se hallan descritos en la Tabla 1.
Y: Porcentaje de frutos con incidencia de *bitter pit*. El potasio, calcio y nitrógeno en fruto se expresan en porcentaje sobre materia seca. Ef: Eficiencia productiva (kg fruto cm⁻² tronco).

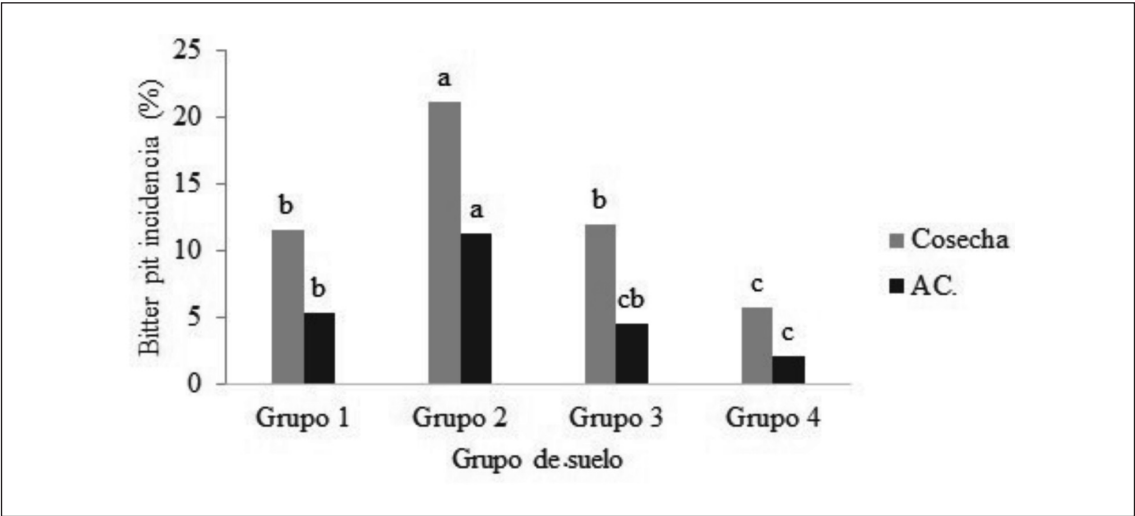


Figura 2. Valores medios de porcentaje de frutos afectados por *bitter pit* (%) en las plantaciones de los cuatro primeros grupos de suelos más contrastados, durante un periodo de cuatro años, y en base a dos momentos de observación: manteniendo los frutos durante 20 días a temperatura ambiente (20°C) inmediatamente después de la recolección (cosecha) y después de 6 meses en atmósfera controlada (AC). Para cada grupo de observaciones, las medias con la misma letra no son significativamente diferentes según el test de rango múltiple de Duncan para un valor de $\alpha = 0,05$. La descripción del grupo de suelo se presenta en la Tabla 1.
Figure 2. Mean values average of fruits affected by bitter pit in main four soil groups, during a 4 years period and according to two moments of observation: keeping the fruits during 20 days at room temperature (20°C) immediately after harvest, or after 6 months in controlled atmosphere (AC). Means with a different letter are significantly different according to Duncan's Multiple Range test for $\alpha = 0.05$. Soil groups are described in Table 1.

materia seca) y la relación K/Ca en el fruto. Se ha elaborado para el conjunto de todas las parcelas y también de manera separada para cada uno de los cuatro grupos de suelos con características más contrastadas (Tabla 1). El mayor coeficiente de determinación (0,47) se obtuvo para las plantaciones del grupo de suelos 2 que son las de mayor incidencia de *bitter pit* (Figura 2) y el menor para el grupo de menor incidencia (grupo 4).

En la validación con todas las plantaciones del quinto año, después de conservarse las man-

zanas durante seis meses en AC, en la predicción de incidencia del *bitter pit* respecto a su incidencia real se obtuvo un ajuste lineal significativo, pero con un $R^2 = 0,48$ (Tabla 8). Cuando se aplicó el mismo modelo al conjunto de las plantaciones estudiadas en el sexto año el coeficiente de determinación disminuyó (Tabla 8). No obstante, cuando el modelo se aplicó a un año y tipo de suelo concreto no siempre resultó ser significativo. Los modelos obtenidos minoraron la incidencia real de *bitter pit*.

Tabla 8. Valores del coeficiente de determinación (R^2) y significación (p valor) de la ecuación que relaciona los porcentajes de incidencia predichos de *bitter pit* respecto a los valores reales medidos en los dos últimos años (periodo de validación) a la salida del periodo de frigoconservación en atmósfera controlada y para cada grupo de suelos

Table 8. Values of the coefficient of determination (R^2) and significance (p value) for the equation which relates the predicted incidence of *bitter pit* to the measured incidence after storage in cold controlled atmosphere, for the different soil types, and for the validation period (the fifth and the sixth years of experimentation)

Grupo	Año	N	R^2	p valor
1	Quinto	8	0,43	0,055
	Sexto	14	0,20	0,078
2	Quinto	4	0,24	0,398
	Sexto	4	0,43	0,159
3	Quinto	7	–	–
	Sexto	10	0,21	0,134
4	Quinto	7	0,84	0,001
	Sexto	15	0,31	0,021
Total	Quinto	32	0,48	<0,001
	Sexto	80	0,27	<0,001

N: número de parcelas que se incluyen en el estudio.

Discusión

Los estudios en situaciones reales de manejo en campo, con frutos de fincas comerciales, y tal como han propuesto diversos autores (Ter-

blanche et al., 1980; Tomala et al., 1993; Aichner y Drahorad, 2003) resultan interesantes. Sin embargo, dada la diversidad de condiciones de manejo y la variabilidad agroclimática es difícil obtener relaciones estadísti-

cas significativas, tanto en la elaboración del modelo como en su validación (Tablas 7 y 8).

Un mayor número de frutos por árbol tiende a reducir la incidencia de *bitter pit*, lo que coincide con otros autores que indican que el equilibrio producción-crecimiento vegetativo tiene gran influencia en la presencia de fisiopatías (Ferguson y Watkins, 1989; Prange et al., 2011).

Las relaciones encontradas entre los contenidos minerales en fruto y el desarrollo de *bitter pit* también coinciden con otros autores (Holland, 1980; Johnson, 1989; Marcelle, 1990; Fallahi et al., 2010) y especialmente con Sharples (1980) y Tomala et al. (1993) respecto a la concentración de calcio en fruto.

La estratificación de las parcelas según tipos de suelos (grupos de suelo, Tabla 1), y el estudio de la incidencia del *bitter pit* en cada uno de ellos, pone de manifiesto un comportamiento diferencial muy claro entre ellos (Figura 2), especialmente entre los grupos 2 y 4. Los suelos del grupo 2 que presentan la mayor incidencia de *bitter pit* son profundos, de texturas moderadamente finas (franco-arcillosas y franco-arcillo-limosas), sin elementos gruesos, con elevada capacidad de retención de agua, con algunos problemas de drenaje y ligera salinidad. En cambio, en el grupo 4 donde existe la menor incidencia, los suelos son poco profundos, de texturas medias, con frecuentes elementos gruesos, con baja capacidad de retención de agua, bien drenados o con drenaje rápido y no salinos. Las diferencias son evidentes, tanto en la incidencia de *bitter pit* como en los parámetros considerados como más influyentes (relaciones N/Ca y K/Ca). Serían estos factores (drenaje, capacidad de retención de agua y salinidad) los determinantes en la aparición del *bitter pit*, factores que deberían ser considerados a la hora de establecer una plantación de manzanos y, especialmente, cuando por razones de manejo se establecen variedades sensi-

bles, como Golden Delicious injertado sobre "EM9", que favorecen la aparición de esta fisiopatía (Trocme y Gras, 1979).

El grupo de suelos 4, y en menor medida el 6, inducen un menor vigor de las plantaciones, lo que facilitaría un equilibrio más rápido de la plantación y una mayor eficiencia productiva. Este conocimiento tiene interés tanto a la hora de elegir los suelos en los que establecer las plantaciones como en las decisiones sobre el tipo de manejo, por ejemplo, mejorar el drenaje en los suelos de tipo 2.

El hecho de no considerar previamente la influencia de las características edáficas explicaría que, a pesar de las innovaciones en el sector, no se hayan podido controlar de manera efectiva las pérdidas en la frigoconservación.

En el contexto anterior en que los distintos tipos de suelos deben ser tratados de manera diferente, el modelo que se ha desarrollado, si la plantación está ya establecida, permite también desestimar lotes de fruta para largas conservaciones y puede plantear mejoras en el programa de nutrición (K y P) y manejo del riego en futuras campañas.

El modelo propuesto presenta la dificultad de que no permite predecir la totalidad de las situaciones y además, es necesaria la validación local con un número elevado de parcelas monitorizadas lo que, a su vez, incrementa la variabilidad. No obstante, aporta mejoras en la gestión de las centrales frutícolas, tanto en el asesoramiento previo a la plantación como en la aproximación al riesgo de desarrollo de *bitter pit* durante el almacenamiento.

Conclusiones

Un primer criterio de decisión a la hora de establecer las plantaciones de manzanos Golden, como en su manejo, sería discriminar según los tipos de suelo definidos mediante crite-

rios similares a los empleados en este trabajo. La investigación desarrollada pone de relieve que aquellos suelos con capacidad de retención de agua moderada, texturas medias, bien o rápidamente drenados, y no salinos, presentan la menor incidencia de *bitter pit*.

En el modelo de predicción de incidencia de *bitter pit* propuesto, la eficiencia productiva, la relación K/Ca y el porcentaje de nitrógeno en el fruto son los factores más significativos. Cuando las parcelas se agrupan por características edáficas, el coeficiente de determinación más elevado se obtiene en los suelos con mayor incidencia (grupo 2) y el menor en los de menor incidencia (grupo 4). No obstante, el modelo es difícil de validar para cada uno de los grupos de suelos. A pesar de ello, la incidencia de *bitter pit* observada ratifica que en las plantaciones de manzanas Golden la valoración de la aptitud del suelo, previa a la plantación, es de gran importancia agronómica para mantener la rentabilidad económica de las explotaciones. Lo anterior implica que *a priori* puede suponer el pasar de una incidencia media a salida de AC próxima al 12% (grupo 2, suelos con texturas finas y dificultades de drenaje) a ser inferior al 3% (grupo 4, suelos con frecuentes elementos gruesos).

Agradecimientos

Los autores agradecen a las Asociaciones de Protección Vegetal de Lleida el apoyo logístico en la elección de las parcelas, a Josep M. Llop el apoyo prestado durante los muestreos y a Manel Aragay y a Alba Puigdomènec el apoyo en los procesos analíticos. También dan las gracias a los revisores de este artículo por sus observaciones constructivas que han permitido mejorar la versión inicial del mismo.

Bibliografía

- AENOR (2008). Determinación del contenido de calcio, sodio, fósforo, magnesio, potasio, hierro, zinc, cobre, manganeso, cobalto, molibdeno, arsénico, plomo y cadmio por ICP-AES. Norma UNE-EN 15510. AENOR. 33 pp.
- Aichner M, Drahorad W (2003). Sviluppo di un modello previsionale della buttersatura amara del melo. Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura 65: 38-41.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia. 301 pp.
- APHA (2012). Nitrogen (ammonia): 4500-NH₃ B, preliminary distillation step and 4500-NH₃ C, titrimetric method. En: Standard methods for the examination of water and wastewater, 22nd Ed. (Eds. Rice E, Bridgewater L), pp. 4-110-111. Ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington DC, EEUU.
- Ben J (1995). Mineral composition of "Jonagold" apples differing in size and in the presence of bitter pit. Acta Horticulturae 383: 457-462.
- Casero T, Benavides AL, Recasens I (2010). Interrelation between fruit mineral content and pre-harvest calcium treatments on 'Golden Smoothee' apple quality. Journal of Plant Nutrition 33: 27-37.
- Danés R, Herrero C, Boixadera J (1991). Cartografia detallada de sòls en àrees de regadiu de Catalunya. Quaderns Agraris 14: 17-32.
- DARP (2016). Aforaments de collita de poma de Lleida per a la campanya 2012. Departamento de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Generalitat de Cataluña. Disponible en: http://agricultura.gencat.cat/web/.content/de_departament/de02_estadistiques_observatoris/02_estructura_i_produccio/02_estadistiques_agricoles/03_fulls_de_previsio_collita/arxius_estatics/fpc_2012/2012_12_lleida_poma_final.pdf.

- Davies WJ, Bacon MA, Thompson DS, Sobeith W, Rodríguez LG (2000). Regulation of leaf and fruit growth in plants growing in drying soil: exploration of the plants' chemical signaling system and hydraulic architecture to increase the efficiency of water use in agriculture. *Journal of Experimental Botany* 51: 1617-1626.
- De Freitas ST, Mitcham EJ (2012). Factors involved in fruit calcium deficiency disorders. *Horticultural Reviews* 40: 107-146.
- Failla O, Treccani CP, Mignani I (1990). Water status, growth and calcium nutrition of apple trees in relation to bitter pit. *Scientia Horticulturae* 42: 55-64.
- Fallahi E, Fallahi B, Neilsen GH, Neilsen D, Peryea FJ. (2010). Effects of mineral nutrition on fruit quality and nutritional disorders in apples. *Acta Horticulturae* 868: 49-60.
- FAO. (2016). FAOSTAT. Compare data. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#compare>
- Faust M (1989). Physiology of temperate zone fruit trees. Ed. John Wiley & Sons, New York, EEUU. 338 pp.
- Ferguson IB, Watkins CB (1989). Bitter pit in apple fruit. *Horticultural Reviews* 11: 289-353.
- Gagnard J (1984). Pommier. En: *L'analyse vegetale dans le controle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales*. (Eds. Martin-Prével P, Gagnard J, Gautier P, Drouineau G), pp. 234-257. Ed. Technique et Documentation, Paris, Francia.
- Herrero C, Boixadera J, Danés R, Villar JM (1993). Mapa de sòls de Catalunya. 1:25.000. Bellvis 360-1-2. DGPIA-ICC. Generalitat de Catalunya, Barcelona, España. 198 pp.
- Ho L, White P (2005). A cellular hypothesis for the induction of blossom-end rot in tomato fruit. *Annals of Botany* 95: 571-581.
- Hocking B, Tyerman SD, Burton RA, Gilliam M (2016). Fruit calcium: transport and physiology. *Frontiers in Plant Science* 7: 1-17.
- Holland D (1980). The prediction of bitter pit. *Acta Horticulturae* 92: 380-382.
- IGC-DAR-ICC (2009). Mapa geològic de Catalunya. Geotrell IV. Mapa de sòls. Mollerussa, full 389-1-1 (65-29), 1:25.000. Institut Geològic de Catalunya, Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació, Institut Cartogràfic de Catalunya.
- IGC-DAR-ICC (2010a). Mapa geològic de Catalunya. Geotrell IV. Mapa de sòls. Tèrrens, full 359-2-2 (64-18), 1:25.000. Institut Geològic de Catalunya, Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació, Institut Cartogràfic de Catalunya.
- IGC-DAR-ICC (2010b). Mapa geològic de Catalunya. Geotrell IV. Mapa de sòls. Bell-lloc d'Urgell, full 388-2-1 (64-29), 1:25.000. Institut Geològic de Catalunya, Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació, Institut Cartogràfic de Catalunya.
- IGC-DAR-ICC (2010c). Mapa geològic de Catalunya. Geotrell IV. Mapa de sòls. Artesa de Lleida, full 388-2-2 (64-30), 1:25.000. Institut Geològic de Catalunya, Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació, Institut Cartogràfic de Catalunya.
- IGC-DAR-ICC (2011). Mapa geològic de Catalunya. Geotrell IV. Mapa de sòls. Les Borges Blanques, full 389-1-2 (65-30), 1:25.000. Institut Geològic de Catalunya, Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació, Institut Cartogràfic de Catalunya.
- ICGC (2017) GT IV. Mapa de suelos 1:25.000. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Disponible en: <http://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Descargas/Cartografia-geologica-y-geotematica/Cartografia-de-suelos/GT-IV.-Mapa-de-suelos-1-25.000>.
- Iglesias I, Carbó J, Bonany J, Montserrat R (2009). Innovación varietal en manzano. *Revista de Fruticultura* 1: 13-25.
- Jemrić T, Fruk I, Fruk M, Radman S, Sinković L, Fruk G (2016). Bitter pit in apples: pre- and postharvest factors: A review. *Spanish Journal of Agricultural Research* 14. DOI:10.5424/sjar/2016144-8491
- Johnson DS (1989). Mineral composition in relation to storage quality apples. I. Setting the standard. *Proceedings of the 5th International*

- Controlled Atmosphere Research Conference, 14-16 de junio, Washington, EEUU, pp. 31-44.
- Lötze E, Theron KI, Joubert J (2010). Assessment of pre-harvest physiological infiltration methods for predicting commercial bitter pit in 'Braeburn' and 'Golden Delicious'. *Acta Horticulturae* 868: 347-352.
- MAPAMA (2015). Superficies y producciones anuales de cultivo de acuerdo con el Reglamento (CE) 543 / 2009. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: <http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/>
- MAPA (1994): Métodos oficiales de análisis. Tomo III. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), Madrid, España. 662 pp.
- Marcelle R (1990). Predicting storage quality from preharvest fruit mineral analyses. A review. *Acta Horticulturae* 274: 305-314.
- Mengel K, Kirkby EA (1982). Principles of plant nutrition. Ed. International Potash Institute, Worblaufen-Bern, Suiza, 655 pp.
- Papadakis J (1966). Climates on the world and their agricultural potentialities. Ed. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Buenos Aires, Argentina. 180 pp.
- Porta J (1983). SINEDARES: sistema de información edafológica y agronómica de España: manual para la descripción codificada de suelos en el campo. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España. 137 pp.
- Prange R, Delong J, Nichols D, Harrison P (2011). Effect of fruit maturity on the incidence of bitter pit, senescent breakdown, and other post-harvest disorders in 'Honeycrisp'TM apple. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 86: 245-248.
- Retamales J, Lepe V (2000). Control strategies for different Bitter pit incidences in Braeburn apples. *Acta Horticulturae* 517: 227-234.
- Retamales J, Valdes C (2001). Chileans find better way to predict bitter pit. *Good Fruit Grower* 52: 35-38.
- Ruhland W (1961). External factors affecting growth and development. Ed. Springer-Verlag. Berlín, Alemania. 690 pp.
- Ruralcat (2017). L'IRTA desenvolupa dos nous mètodes per predir el *bitter pit* en poma. Disponible en: http://www.ruralcat.net/web/guest/noticia/-/journal_content/2002/10136/15987136/l%E2%80%99irta-desenvolupa-dos-nous-metodes-per-predir-el-bitter-pit-en-poma
- SAS Institute Inc. (2002-2012). SAS/TAT. Software v 9.4. Ed. SAS, Cary, NC, EEUU.
- Sharples RO (1968). The structure and composition of apples in relation to storage quality. Report of East Malling Research Station for 1967, Reino Unido, pp. 185-189.
- Sharples RO (1980). The influence of orchard nutrition on the storage quality of apples and pears grown in the United Kingdom. *Acta Horticulturae* 92: 17-28.
- Terblanche J, Gürgen K, Hesebeck I (1980). An integrated approach to orchard nutrition and bitter pit control. *Acta Horticulturae* 92: 71-82.
- Tomala K, Myga W, Kobylinska J (1993). Attempts at predicting storage ability of apples. *Acta Horticulturae* 326: 149-156.
- Torres E, Recasens I, Peris JM, Alegre S (2015). Induction of symptoms pre-harvest using the 'passive method': An easy way to predict bitter pit. *Postharvest Biology and Technology* 101: 66-72.
- Trocme S, Gras R (1979). Suelo y fertilización en fruticultura. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España, 388 pp.
- Val J, Gracia MA, Blanco A, Monge E, Pérez M (2006). Polypeptide pattern of apple tissues affected by calcium-related physiopathologies. *Food Science and Technology International* 12: 417-421.
- Volz RK, Tustin DS, Ferguson IB (1996). Mineral accumulation in apple fruit as affected by spur leaves. *Scientia Horticulturae* 65: 151-161.
- (Aceptado para publicación el 14 de febrero de 2018)